

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-291968

(43)Date of publication of application : 16.10.1992

(51)Int.Cl.

H01L 31/10

(21)Application number : 03-080573

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 20.03.1991

(72)Inventor : OKAMURA MASAMICHI
TANAKA KEIJI
SUYAMA SHIRO

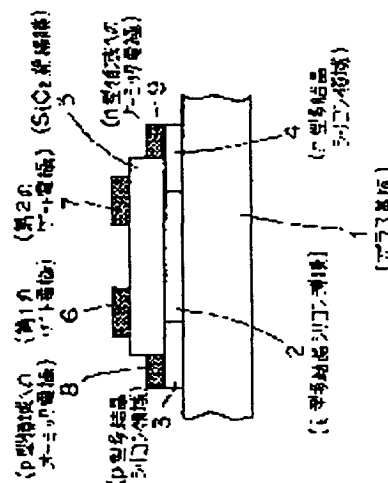
(54) PHOTODIODE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a photodiode in which a reverse leakage current is remarkably reduced in a polycrystalline silicon diode to be used as a photodetector and a reverse dark current is reduced in a diode of an amorphous silicon.

CONSTITUTION: A p-channel is induced at an i-type region side of a p-i junction or one side electrode - i-type junction to be formed in a p-i-n type structure and an n-channel is induced at the i-type region side of an n-i junction or the other side electrode - i-type junction by applying a suitable voltage to a gate electrode, and a boundary of the junction is formed in the i-type region having a low capture center density. Thus, a tunnel current or a Poole-Frenkel current passing through the capture center can be reduced, and a reverse leakage current of a diode can be remarkably reduced.

Therefore, a polycrystalline silicon may be initially used as a photodiode, and an S/N ratio for a light having a low incident power is improved in an amorphous silicon.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2959682号

(45) 発行日 平成11年(1999)10月6日

(24) 登録日 平成11年(1999)7月30日

(51) Int.Cl.⁸

H 0 1 L 31/10

識別記号

F I

H 0 1 L 31/10

A

請求項の数 5 (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平3-80573

(22) 出願日 平成3年(1991)3月20日

(65) 公開番号 特開平4-291968

(43) 公開日 平成4年(1992)10月16日

審査請求日 平成9年(1997)2月4日

(73) 特許権者 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 岡村 正通

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

日本電信電話株式会社内

(72) 発明者 田中 敬二

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

日本電信電話株式会社内

(72) 発明者 陶山 史朗

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

日本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 大塚 学

審査官 門田 かづよ

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトダイオード

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成した不純物をドーピングしてないi型半導体薄膜の両側にp型半導体薄膜とn型半導体薄膜とをそれぞれ配した平面型p-i-n構造において、該p-i-n構造内に形成されるp-i接合部とn-i接合部の片方あるいは両方の、上または下、あるいは上下に、絶縁膜を介して、所要のゲート電極を設けたことを特徴とするフォトダイオード。

【請求項2】 基板上に形成した不純物をドーピングしてないi型半導体薄膜の両側にp型半導体薄膜ならびにn型半導体薄膜を配した平面型p-i-n構造において、該平面型p-i-n構造内に形成されるp-i接合部の上または下、あるいは上下に、膜中に負の固定電荷を有する絶縁膜を設け、さらに前記平面型p-i-n構造内に形成されるn-i接合部の上または下、あるいは上下

2

に、正の固定電荷を有する絶縁膜を設けたことを特徴とするフォトダイオード。

【請求項3】 基板上に形成した不純物をドーピングしてないi型半導体薄膜の両端にそれぞれ電極を配した構造において、前記電極の片方と前記i型半導体薄膜の接合部の上または下、あるいは上下に、膜中に負の固定電荷を有する絶縁膜を設けるとともに、前記電極の他方と前記i型半導体の接合部の上または下、あるいは上下に、膜中に正の固定電荷を有する絶縁膜を設けたことを特徴とするフォトダイオード。

【請求項4】 前記半導体に多結晶シリコン薄膜を用いたことを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載のフォトダイオード。

【請求項5】 前記半導体にアモルファスシリコン薄膜を用いたことを特徴とする請求項1から請求項3のいづ

れかに記載のフォトダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信、光情報処理、イメージセンサ等の分野における受光素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来アモルファスシリコンを用いた受光素子がある。このアモルファスシリコンのp-i-nダイオードは、ガラス基板上に安価にしかも大面積で形成可能であることから、ファクシミリ、コピー等の機器におけるイメージセンサ素子として幅広く使用されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】また、従来の多結晶シリコンのp-nあるいはp-i-n接合においては、接合界面の結晶粒界における不純物の偏析や接合界面への欠陥の集中が原因となって、接合界面近傍の捕獲中心密度が著しく高くなるという重大な欠点があった。このため、文献（例えば、Journal of the Electrochemical Society, vol. 125, No. 10 1978年の1648頁）に示されてあるように、多結晶シリコンのp-nあるいはp-i-nダイオードに逆方向電界を加えると、接合界面近傍の捕獲中心を経由して、トンネル電流やPoole-Frenkel電流などが流れ、ダイオードの逆方向リーク電流は大きくなる。そのため、ダイオードに光を照射しても、光電流がリーク電流に埋もれてしまい、受光素子として使用することができなかった。

【0004】また、アモルファスシリコンを用いたp-i-nダイオードの場合には、アモルファスシリコンのみでp-i-nダイオードを形成した場合には逆方向の暗電流は必ずしも低くはなく、 $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 程度の入射パワーの光が検出限界であった。さらに $0.1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 程度の光の検出が可能な高感度のフォトダイオードを作製するためには、pまたはn層をアモルファスSiCで形成したり、オーミック電極とpまたはn層の間にアモルファスSiNの薄い層をはさむことなどの改善によって、逆方向の暗電流を減少させる必要があった。

【0005】本発明の目的は、多結晶シリコンダイオードにおいては逆方向リーク電流を著しく減少させて受光素子として使用することができ、アモルファスシリコンのダイオードにおいては逆方向暗電流を減少させたフォトダイオードを提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するために第1の発明は基板上に形成した不純物をドーピングしないi型半導体薄膜の両側にp型半導体薄膜とn型半導体薄膜とをそれぞれ配した平面型p-i-n構造において、該p-i-n構造内に形成されるp-i接合部とn

i接合部の片方あるいは両方の、上または下、あるいは上下に、絶縁膜を介して、所要のゲート電極を設けたことを特徴とするフォトダイオードである。第2の発明は基板上に形成した不純物をドーピングしないi型半導体薄膜の両側にp型半導体薄膜ならびにn型半導体薄膜を配した平面型p-i-n構造において、該平面型p-i-n構造内に形成されるp-i接合部の上または下、あるいは上下に、膜中に負の固定電荷を有する絶縁膜を設け、さらに前記平面型p-i-n構造内に形成されるn-i接合部の上または下、あるいは上下に、正の固定電荷を有する絶縁膜を設けたことを特徴とするフォトダイオードである。第3の発明は基板上に形成した不純物をドーピングしないi型半導体薄膜の両端にそれぞれ電極を配した構造において、前記電極の片方と前記i型半導体薄膜の接合部の上または下、あるいは上下に、膜中に負の固定電荷を有する絶縁膜を設けるとともに、前記電極の他方と前記i型半導体の接合部の上または下、あるいは上下に、膜中に正の固定電荷を有する絶縁膜を設けたことを特徴とするフォトダイオードである。

【0007】

【作用】このゲート電極に適当な電圧を加えて、p-i接合部のi領域側にpチャンネルを、また、n-i接合部のi領域側にnチャンネルを誘起し、接合の界面を捕獲中心密度の低いi領域内に形成することができる。これによって、捕獲中心を経由するトンネル電流やPoole-Frenkel電流などを減少させることが可能となり、ダイオードの逆方向リーク電流が著しく減少する。このため、多結晶シリコンではフォトダイオードとしての使用が初めて可能となり、また、アモルファスシリコンでは入射パワーの低い光に対するS/N比が向上する。さらに、p-i接合部の、あるいは片方の電極-i型接合部の上または下、あるいは上下に膜中に負の固定電荷を有する絶縁膜を設けるとともに、n-i接合部の、あるいはもう片方の電極-i型接合部の上または下、あるいは上下に膜中に正の固定電荷を有する絶縁膜を設けることにより、素子構造を簡略化することができる。

【0008】

【実施例1】以下、実施例1から実施例4までは、多結晶シリコンを用いた実施例について説明する。図1は、本発明の第1の実施例のフォトダイオードの断面図である。ガラス基板1の上に、例えばノンドープのi型多結晶シリコン薄膜2を約30nmの膜厚で形成し、その両側に例えばイオン注入法によってボロンドープのp型多結晶シリコン領域3ならびにリンドープのn型多結晶シリコン領域4を設けた。その上に、スパッタリングによってSiO₂絶縁膜5を約100nmの膜厚で形成し、次に、アルミニウムを用いてp-i接合部17上に第1ゲート電極6を、また、n-i接合部18上に第2のゲート電極7を設けた。さらに、p型領域3へのオーミッ

5

ク電極8ならびにn型領域4へのオーミック電極9を設けた。

【0009】一般に、イオン注入によって形成されたp-iならびにn-i接合の界面は、イオン注入によって生じた欠陥の残留や不純物の偏析のために、捕獲中心が多結晶シリコン膜中よりもはるかに多い。このため、接合に逆バイアスを加えると、界面の捕獲中心を介したトンネル電流やPooler-Frenkel電流などによって、逆方向のリーク電流が非常に大きくなってしまう。イオン注入に限らず、p型あるいはn型の多結晶シリコン膜を堆積して接合を形成した場合でも状況は同じである。本実施例の図1に示した構造のフォトダイオードにおいても、第1のゲート電極6ならびに第2のゲート電極7に電圧を加えずに、電圧-電流特性を測定したところ、図2(a)に示すように、逆方向のリーク電流が非常に大きかった。

【0010】図1の構造において第1のゲート電極6に負電圧を、第2のゲート電極7に正電圧を加えると、図3に示すように、第1のゲート電極6下のi型多結晶シリコン層2中にpチャネル10が、第2のゲート電極7下のi型多結晶シリコン層2中にnチャネル11が形成される。これによって、p-i接合17ならびにn-i接合18の界面が、捕獲中心の多い場所から、捕獲中心の少ないi型多結晶シリコン中に移動する。この状態で、ダイオードの電圧-電流特性を測定したところ、図2(b)に示すように、逆方向リーク電流が著しく減少し、正常なダイオード特性が得られた。また、図1または図3に示す絶縁膜5側あるいはガラス基板1側から、i型多結晶シリコン層2へ光を照射したところ、図2(b)に示すように、光電流を観測することができ、暗時の電流と比較して、逆方向バイアス時に十分なオン・オフ比がとれた。

【0011】なお、本実施例では、第1のゲート電極6ならびに第2のゲート電極7を、絶縁膜5をはさんで多結晶シリコン層2の上に形成したが、多結晶シリコン層2の下に形成してもよい。あるいは、第1のゲート電極6および第2のゲート電極7の片方を上に、他方を下に形成してもよい。また、第1のゲート電極6および第2のゲート電極7の両方を設けなくとも、どちらか片方だけでも逆方向リーク電流をある程度低減することが可能である。

【0012】さらに、本実施例では、第1ゲート電極6と、第2ゲート電極7、p型領域3へのオーミック電極8ならびにn型領域4へのオーミック電極9のそれぞれに、別々に電圧を加えた4端子動作としたが、動作電圧によっては、第1のゲート電極6とp型領域3へのオーミック電極8を相互接続し、また第2のゲート電極7とn型領域(4)へのオーミック電極9を相互接続して、2端子動作とすることも可能である。

【0013】

6

【実施例2】図4に、本発明の第2の実施例を示す。図1との相違は、第1のゲート電極6の下にi型多結晶シリコン層2の下に、SiO₂絶縁膜12をはさんで第1のゲート電極6と同電位の第3のゲート電極13を、また、第2のゲート電極7の下にi型多結晶シリコン層2の下にSiO₂絶縁膜12をはさんで第2のゲート電極7と同電位の第4のゲート電極14を設けたことである。i型多結晶シリコン層2の上下両側からpチャネル10、nチャネル11を形成するので、実施例1に比べてi型多結晶シリコン層2を厚くすることができる。即ち光吸収層を厚くすることができるので、実施例1に比べ光電流が多くとれるという利点がある。

【0014】

【実施例3】図5は、本発明の第3の実施例である。第1の実施例との相違は、第1のゲート電極を設ける代わりに、膜中に負の固定電極を有することでバイアスの無い状態で直下のi型多結晶シリコン層2中にpチャネル10を誘起することが可能である絶縁膜15と、第2のゲート電極を設けるかわりに、膜中に正の固定電極を有することでバイアスの無い状態で直下のi型多結晶シリコン層2中にnチャネルを誘起することが可能である絶縁膜16を設けたことである。絶縁膜の種類や形成条件によって、絶縁膜-i型多結晶シリコン界面を制御しなければならぬ難しさが生ずるものの、素子構造が簡単になる長所がある。

【0015】

【実施例4】図6は、本発明の第4の実施例を説明するために参考として示す断面図である。第1の実施例との相違は、i型多結晶シリコン層2の両側にp型ならびにn型多結晶シリコンを配する代わりに、i型多結晶シリコン層2の両側にp型領域へのオーミック電極8ならびにn型領域へのオーミック電極9を直接形成したことである。素子構造ならびに素子作製工程が簡単になる長所がある。

【0016】図6に示す構造において、第1のゲート電極6に負電圧を、第2のゲート電極7に正電圧を加えると、図7に示すように、第1のゲート電極6下のi型多結晶シリコン層2中にpチャネル10が、第2のゲート電極7下のi型多結晶シリコン層2中にnチャネル11が形成されて、p-i-n構造となり、第1の実施例と同じように動作させることができた。

【0017】図6に示す構造においても、第1のゲート電極6ならびに第2のゲート電極7を、絶縁膜を挟んで多結晶シリコン層2の下に形成してもよいし、第1ならびに第2のゲート電極の片方を上に、他方を下に形成してもよい。また、第1のゲート電極と第2のゲート電極の両方を設けなくとも、どちらか片方だけでも逆方向リーク電流をある程度低減することが可能である。さらに、動作電圧によっては、第1のゲート電極6とp型領域へのオーミック電極8を相互接続し、また第2のゲ

50

7

ト電極7とn型領域へのオーミック電極9を相互接続して、2端子動作とすることも可能である。

【0018】また、第3の実施例と同様に、図6に参考として示す構造において、第1のゲート電極を設けるかわりに、膜中に負の固定電荷を有する絶縁膜15を、また、第2のゲート電極を設ける代わりに、膜中に正の固定電荷を有する絶縁膜16を設けても良い。この場合の実施例4が図8に示されている。

【0019】以上、実施例1から実施例4まで、多結晶シリコンについて説明したが、多結晶シリコンをアモルファスシリコンに置き換えても、同じように、ダイオードの逆方向暗電流の低減効果が得られる。図1に示した構造において、多結晶シリコンをアモルファスシリコンに置き換えたダイオードを作製し、その特性を測定したところ、逆方向暗電流が従来のp-i-nダイオードよりも2桁低くなり、入射パワーが $0.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以下の光の受光が可能になった。また、多結晶シリコン、アモルファスシリコンの代わりに、アモルファスGe、多結晶Ge、アモルファスSiGe、多結晶SiGe、アモルファスSiC、多結晶SiCを用いても良い。

【0020】

【発明の効果】以上説明したように、本発明よって、p-iならびにn-i接合の界面を捕獲中心密度の低いi領域内に形成することで、捕獲中心を経由するトンネル電流あるいはPoole-Frenkel電流を減少させることが可能となった。このため、従来はフォトダイオ

*ードとして使用できなかった多結晶シリコンにおいて、ダイオードの逆方向リーク電流が著しく減少し、フォトダイオードとしての使用が可能となった。また、アモルファスシリコンにおいては、従来に比べてダイオードの逆方向リーク電流が著しく減少し、低い入射パワーの光に対するフォトダイオードのS/Nが飛躍的に向上した。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を説明するための断面図である。

【図2】(a)は従来のダイオードの電流-電圧特性、(b)は本発明のダイオードの暗時ならびに光を照射したときの電流-電圧特性である。

【図3】本発明の第1の実施例の動作を説明するための断面図である。

【図4】本発明の第2の実施例を説明するための断面図である。

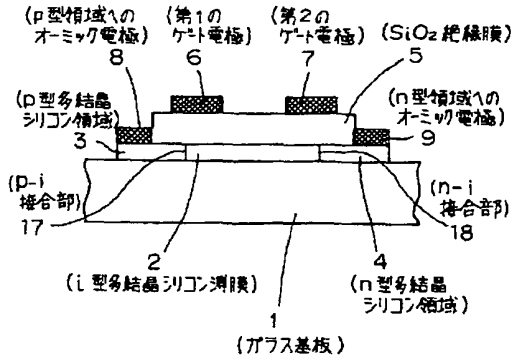
【図5】本発明の第3の実施例の構造を説明するための断面図である。

【図6】本発明の第4の実施例の構造を説明するために参考として示す断面図である。

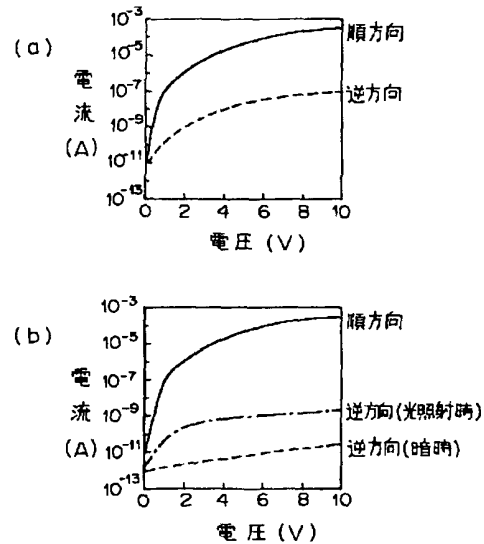
【図7】本発明の第4の実施例の動作を説明するために参考として示す断面図である。

【図8】本発明の第4の実施例を説明するための断面図である。

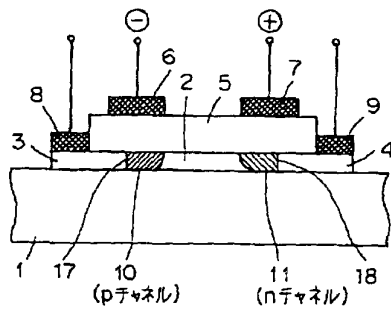
【図1】



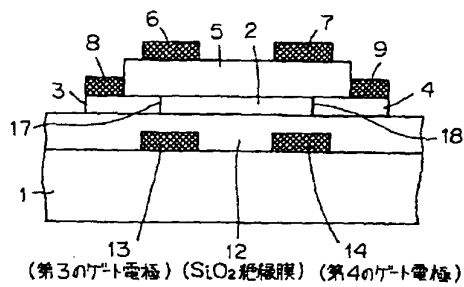
【図2】



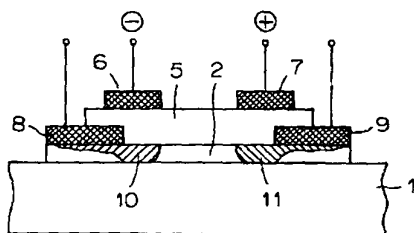
【図3】



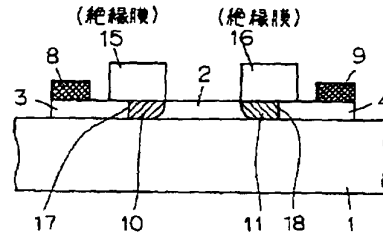
【図4】



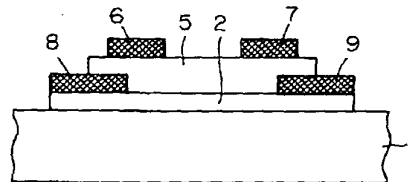
【図7】



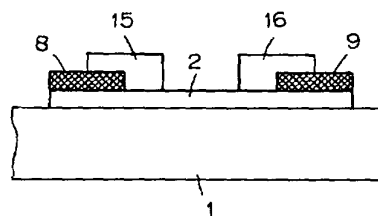
【図5】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

(56) 参考文献 特開 昭62-145866 (J P, A)
特開 平2-215168 (J P, A)

(58) 調査した分野(Int. Cl.⁶, D B 名)
H01L 31/00 - 31/119